



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

“Disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad
de Chuquibamba-Cajabamba utilizando *Opuntia ficus indica*, *Aloe
vera* y *Caesalpinia spinosa*”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

MORENO PÉREZ SANDY CELINA

ASESOR:

Dra. MERCEDES LÓPEZ GARCÍA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

CALIDAD Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

TRUJILLO – PERÚ

2016

ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo, **Dra. MERCEDES LÓPEZ GARCÍA**, asesora del curso de Desarrollo de Tesis y revisión de la tesis de la estudiante MORENO PÉREZ, SANDY CELINA; titulada “DISMINUCIÓN DE LA TURBIDEZ DEL AGUA DEL RÍO CRISNEJAS EN LA COMUNIDAD DE CHUQUIBAMBA-CAJABAMBA UTILIZANDO *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa*”, constando que esta tiene un índice de similitud de 11% verificable en el reporte de originalidad del programa turnitin.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. Mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Trujillo, 07 de diciembre del 2016

Dra. MERCEDES LÓPEZ GARCÍA
DNI: 17871533

INFORME DE CULMINACIÓN DE TESIS

Yo, Dra. **MERCEDEZ LÓPEZ GARCÍA**, asesor de la Tesis titulada “Disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa*”, del señor estudiante SANDY CELINA MORENO PÉREZ, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo; informo a Ud. que la presente Tesis ha culminado satisfactoriamente, ha sido revisada detalladamente por mi persona y se encuentra lista para ser sustentada y defendida por mi asesorado. Y para que conste firmo la presente.

Trujillo, 07 de diciembre del 2016

Dra. MERCEDEZ LÓPEZ GARCÍA
Asesor

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Sandy Celina Moreno Pérez con DNI N° 72356210, a efecto de cumplir con los criterios de evaluación de la experiencia curricular de Desarrollo de Proyecto de Tesis, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, 07 de noviembre del 2016.

Moreno Pérez Sandy Celina

DNI: 72356210

UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO

Título de tesis

Disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa*.

Moreno Pérez Sandy Celina

Autor

Presentada a la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo,
para su aprobación.

Dr. Alberto Quezada Alvarez

Presidente

Ms. Misael Ydilbrando Villacorta

Secretario

Dra. Mercedes López García

Vocal

DEDICATORIA

Este gran logro se lo dedico con mucho amor y respeto a Dios y a mis padres Francisco Moreno Bernardo y Guadalupe Pérez Acosta, grandes seres de dedicación, trabajo y amor, que han sabido darme las fuerzas para continuar con cada sueño y meta trazada.

A la mujer valiente y valiosa que Dios me ha permitido conocer, mi abuela Edelmira Bernardo Urquiza, a los luceros de mi vida mis hermanos y a la mejor amiga que la vida me pudo brindar, Mariela Valdez Moreno.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, amigos y personas especiales en mi vida ya que son el apoyo en mi vida profesional y personal. No podría sentirme más fortalecida al tenerlos apoyándome en los momentos más difíciles e importantes de mi vida.

Este es un gran logro gracias a ustedes padres míos; he logrado concluir con éxito un proyecto que en principio parecía una tarea interminable, gracias a su amor y comprensión.

Este logro también va de la mano con los ilustres consejos de asesoría de una gran mujer luchadora y valiente, gracias por su apoyo Dra. Mercedes López García.

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado presento ante ustedes la tesis titulada “Disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando ***Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa***”, con la finalidad de determinar la disminución de la turbidez del agua que consume la población de Chuquibamba-Cajabamba captada desde el río Crisnejas, utilizando *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa*, en cumplimiento del reglamento de grados y títulos de la Universidad César Vallejo para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Esperando cumplir con los requisitos de aprobación.

La autora.

INDICE

| | |
|---|---------------|
| I. Introducción | 1 |
| 1.1. Realidad problemática | 2 |
| 1.2. Trabajos previos | 3 |
| 1.3. Teorías relacionadas al tema | 8 |
| 1.4. Formulación del problema | 12 |
| 1.5. Justificación del estudio | 12 |
| 1.6. Hipótesis | 13 |
| 1.7. Objetivos | 13 |
| II. Metodología | 14 |
| 2.1. Diseño de investigación | 14 |
| 2.2. Variables, Operalización | 16 |
| 2.3. Población y muestra | 17 |
| 2.4. Técnicas e instrumento de recolección de datos | 17 |
| 2.5. Método de análisis de datos | 19 |
| 2.6. Aspectos éticos | 19 |
| III. Resultados | 20 |
| IV. Discusión | 25 |
| V. Conclusiones | 28 |
| VI. Recomendaciones | 30 |
| VII. Referencias | 31 |
| Bibliográficas | 31 |
| Anexos | 35 |

RESUMEN

Se presenta los resultados correspondientes a las pruebas realizadas con las especies “***Opuntia ficus indica***, ***Aloe vera*** y ***Caesalpinia spinosa***”, las cuales fueron puestas a prueba como coagulante-floculante natural en el tratamiento de las aguas del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba, dicho proyecto de investigación tuvo una duración de 9 meses, tomando en cuenta variables como la velocidad de agitación, tiempo de contacto y la cantidad del recurso vegetal a usar. La población se constituyó por las aguas del río Crisnejas, tomando en total 108 litros de agua, necesarios para la aplicación del tratamiento mediante el uso del equipo de test de jarras B-KER, de igual modo para la determinación de la turbidez fue necesario el uso del equipo de Turbidímetro-Nefelómetro portátil HI 93703 C. Una vez efectuadas las pruebas se llegó a la conclusión que la disminución de la turbidez del agua que consume la población de Chuquibamba-Cajabamba, se realizó de manera favorable, logrando reducir la turbidez en un 61.09% al usar *Opuntia ficus indica*, en un 48.47% al usar *Caesalpinia spinosa* y en un 42.48% en el caso del uso de *Aloe vera*.

Palabras clave: Coagulación-floculación, ***Opuntia ficus indica***, ***Aloe vera***, ***Caesalpinia spinosa***, turbidez.

ABSTRACT

The results corresponding to the tests performed with the species "Opuntia ficus indica, Aloe vera and Caesalpinia spinosa", which were tested as natural coagulant-flocculant in the treatment of the waters of the river Crisnejas in the community of Chuquibamba- Cajabamba, this research project took about 9 months, taking into account variables such as agitation speed, contact time and the amount of plant resource to be used. The population was constituted by the water of the river Crisnejas, taking in total 108 liters of water of sample, necessary for the application of the treatment using jar test apparatus B-KER, likewise for the determination of the turbidity was necessary the Use of the HI 93703 C Turbidimeter-Portable Nephelometer equipment. Once the tests were carried out, it was concluded that the reduction of the turbidity of the water consumed by the population of Chuquibamba-Cajabamba was carried out in a favorable way, reducing turbidity in 61.09% when using Opuntia ficus indica, 48.47% when using Caesalpinia spinosa and 42.48% when using Aloe vera.

Key Word: Coagulation-floculation, ***Opuntia ficus indica, Aloe vera, Caesalpinia spinosa***, turbidify.

I. INTRODUCCIÓN:

El agua es la sustancia preciada, necesaria para el sostén de la vida, es un recurso único en el mundo y es cada vez más escasa, ya sea por la contaminación o por la mala gestión del mismo debido al aumento poblacional y con ello el aumento de la demanda hídrica; sin embargo para lograr la potabilización de este recurso es necesario someterlo a varios procesos elementales, los cuales pueden comprender desde la sedimentación, clarificación, desinfección, para finalmente lograr el acondicionamiento tanto de manera química como organoléptica.

La coagulación-floculación es una etapa del proceso de tratamiento de aguas para el consumo humano, el cual tiene por objetivo desestabilizar las partículas en suspensión para luego ser aglomeradas, esto con la ayuda de un equipo especializado, formando los flóculos, los cuales puede ser eliminado mediante procedimientos de decantación y filtración con lo que se extraerán los lodos (SEDAPAL 2006).

En el Perú actualmente se usa como coagulante el Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ el cual se ha demostrado que puede ser nocivo para la salud de las personas si son ingeridos en altas concentraciones (OMS., 2012). Por tal motivo, surge la necesidad de evaluar especies de origen vegetal, las cuales son no tóxicas para el consumo humano, comprobando su efectividad como clarificantes que permitan sustituir parcial o totalmente los productos químicos; entre estos podemos encontrar el tuna *Opuntia* (Hernández, et al 2013), goma de tara (Revelo. et al, 2015), aloe vera (Ramírez, Jaramillo 2014).

El objetivo de esta investigación es la disminución de la turbidez del agua que consume la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando recursos vegetales propios de la zona: tuna, tara y aloe vera ya que estos obtuvieron significativos resultados en cuanto a efectividad en investigaciones anteriores para estas especies poco utilizadas por los pobladores de la zona. También se determinará la especie más efectiva en el proceso de coagulación- floculación para la clarificación del agua turbia, teniendo en cuenta las variables tiempo y velocidad de agitación, cantidad de especie vegetal a usar y el tipo de recurso vegetal a usar.

1.1. REALIDAD PLOBLEMÁTICA:

La calidad del agua para consumo humano, es un tema de interés mundial. Los problemas referentes a tratamientos actuales para la obtención de agua potable traen consigo problemas que pueden dificultar la inocuidad del recurso hídrico; esto puede deberse tanto a la falta de capacitación técnica a personal encargado de este proceso como también a la falta de éste, por lo que se imposibilita la correcta dosificación y manejo de coagulantes químicos, como también a la falta de recursos económicos que puedan cubrir el coste de dicho tratamiento (UNICEF, 2014).

Teniendo en cuenta la población más vulnerable, sobre todo en zonas rurales donde los recursos económicos escasean y el acceso a este recurso se complica debido a la geografía, el uso de agentes químicos para el tratamiento de aguas se dificulta al aplicar un tratamiento continuo puesto que es de alto costo; además del riesgo que el uso de estos agentes químicos trae consigo como el cambio en el pH, así como también existen problemas ambientales como las precipitaciones ácidas y el material particulado afectan a la seguridad hídrica (Ramírez, Jaramillo 2015).

Por otra parte, se tiene el problema de la seguridad sanitaria del agua, puesto que el uso doméstico de aguas no aptas para el consumo humano pueden causar daños graves a la salud, enfermedades como el cólera, enfermedades gastrointestinales, problemas de parasitosis graves y riesgo de mortalidad, impactando negativamente a la población consumidora, ya que los coloides causantes de la turbidez del agua pueden contener agentes biológicos y micro algas que podrían afectar a la salud de las personas consumidoras de aguas sin previo tratamiento (OMS., 2012).

El reflejo de estas deficiencias en el tratamiento de aguas para consumo humano, se puede denotar con gran intensidad en las zonas pobres de la sierra peruana, como lo es el Distrito de Chuquibamba-Cajabamba, en donde el abastecimiento de aguas para consumo se realiza directamente del río Crisnejas sin tomar precauciones en cuanto a su tratamiento, realizando un proceso corto y rudimentario de sedimentación de sólidos y desinfección, de esta manera se pone en riesgo la salud de los pobladores de estas zonas de alta pobreza y con alto índice de enfermedades gastrointestinales.

1.2. TRABAJOS PREVIOS:

Según **Revelo, Proaño y Banchón (2015)**, en su artículo “Biocoagulación de aguas residuales de industria textilera mediante extractos de *Caesalpinia spinosa*”, propone el uso de *Caesalpinia spinosa* comúnmente conocida como guarango o tara, en el tratamiento de aguas residuales textiles, las muestras de agua para el tratamiento fueron tomadas de del río Pelileo, Tungurahua-Ecuador, para la obtención del biocoagulante se usó el método de pulverización de la tara y preparación concentrada de esta, la coagulación-floculación se realizó mediante el equipo de Flocumetric (Selecta-España), durante el proceso se utilizaron dos velocidades de agitación de 200 y 40 rpm en intervalos de 3, 5, 15 y 20 minutos; de igual modo se usaron las concentraciones de 9.0, 5.7, 23.3, 18.0, 11.4 y 45.0 g/L. Se concluyó que la efectividad de remoción de turbidez oscila entre 24-52%, con la concentración de 45.0 g/L siendo esta la más eficiente, en cuanto al tiempo se determinó que el mejor tiempo de agitación es el de 15 minutos en el equipo correspondiente.

Según **Kumar, et al (2015)**, en su artículo “Coagulation performance evaluation of natural and synthetic coagulants in waster water treatment”, propone el uso de la *Caesalpinia spinosa* (tara), *aloe chinensis* (aloe vera-penca sábila) y *Carica papaya* (papaya) para el tratamiento de aguas turbias, las muestras de agua están preparadas con arcilla común en un laboratorio teniendo las turbidez de 80-90-100 NTU, las pruebas se realizaron mediante la preparación de una solución concentrada de 500 mg de cada coagulante-floculante natural en un litro de agua para poder diluirla, a una velocidad rápida de 80 rpm durante 5 minutos para luego aplicar una velocidad lenta de 40 rpm durante 25 minutos, los resultados fueron favorables logrando una reducción de la turbidez en un 65.25% en el caso de la tara, un 50% en el caso de la penca sábila y 45.80% en el caso de la papaya, tomando como turbidez inicial 100 NTU llegando a la conclusión que el coagulante vegetal tara y aloe vera son los más eficientes en el tratamiento de aguas con turbidez moderada, las cuales pueden recibir tratamientos secundarios en cuanto a filtración y desinfección si se quisiera consumir.

Según **Ramírez y Jaramillo (2015)**, en su artículo “Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua”, propone el uso de diversos coagulantes de origen vegetal para el tratamiento de clarificación del agua, teniendo como objetivo realizar el análisis de información existente referente a este tipo de coagulantes de origen natural, evaluando la eficacia y mecanismos que se pueden emplear para remover la turbidez de aguas, mediante la prueba de jarras se pudo determinar la eficacia de estas especies, que en su mayoría se tomaron en cuenta parámetros como la velocidad de agitación entre 100 y 200 rpm, el tiempo de contacto usando de 15-20-30 minutos; entre las principales coagulantes estudiados se encuentran, Moringa Oleífera, aloe vera, cactus, almidones y taninos, llegando a concluir que el uso de materiales naturales minimizaría el impacto de coagulantes químicos, minimizando los costos de tratamiento de aguas, si se dispone de estos a nivel local, en general el coagulante vegetal Moringa Oleífera y el cactus son los que arroja los mejores resultados de efectividad de hasta el 95 % de remoción de turbidez.

Según **Contreras, et al (2015)**, en su artículo “El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación del agua”, propone el uso del nopal como coagulante natural, comúnmente llamado tuna, teniendo como objetivo principal medir la eficacia del mucilago extraído del nopal para usarlo como complementario del sulfato de aluminio en el proceso de tratamiento para clarificar el agua del Río Magdalena en Sucre, mediante la prueba de jarras se realizó la clarificación, aplicando dos concentraciones de 35 y 40 mg/L a velocidades de 100 y 200 rpm aplicando dos tiempos de agitación de 20 y 30 minutos, teniendo en cuenta el pH, la porción y concentración del coagulante y la velocidad a la que se agitará la muestra; de este modo se determinó una eficiencia superior al 50%, siendo las concentraciones más efectivas 96 – 98% de coagulante nopal, este a su vez no afectó el pH de manera significativa, manteniendo las características iniciales de este, obteniendo como conclusión la alta efectividad del coagulante de nopal, reduciendo altamente la coloración y turbidez del agua, llegando a un aproximado de 80% de efectividad.

Según **Olivero, et al (2014)**, en su artículo “Utilización de Tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas”, propone en uso de la mucilago de tuna para la clarificación del agua del río Magdalena en Magangué – Colombia, teniendo como objetivo comprobar la efectividad del producto natural, comparándolo con el coagulante comercial sulfato de aluminio; se extrajo el mucílago de la tuna mediante la trituration de su corteza, llevándola luego a un secado al vacío a 70°C, para finalmente agregarle alcohol etílico con el propósito de extraer los pigmentos, los cuales se evaporaron y concentraron en un horno eléctrico obteniendo el polvo final. Se probaron dos tipos de concentraciones del producto vegetal, 35 y 40 mg/L a velocidades de 100 y 200 rpm, teniendo como tiempo de contacto de 15, 20 y 40 minutos. Se llegó a la conclusión de que a velocidades de 200 rpm se denota mayor efectividad en ambos coagulantes tanto el comercial como el vegetal, siendo un 83.66% la efectividad del mucílago de tuna, denotando alta competitividad contra el sulfato de aluminio.

Según **López, et al (2014)**, en su artículo “Evaluación de almidones de malanga (*Colocasia esculenta*) como agente coadyuvante en la remoción de turbiedad en proceso de potabilización de agua”, pretende evaluar la eficacia de las mezclas de almidón de malanga con sulfato de aluminio para remover la turbiedad, para la extracción del almidón se molieron 30 kg de fruto en una licuadora hasta su completa pulverización, para luego mezclar con agua a 40 °C obteniendo hasta tres veces su volumen, para luego centrifugar y filtrar y dejar reposar por 48 horas, el sobrenadante se retiró y dejó secar en una estufa a 50°C por 24 horas, la demostración de su efectividad se realizó mediante la prueba de jarras en agua controlando la turbidez, probándola en 50-60-70-80-90-100 NTU, en donde se obtuvieron resultados favorables y significativos al mezclar el sulfato de aluminio con el almidón de malanga para remover la turbidez del agua.

Según **Ramírez y Jaramillo (2014)**, en su artículo “Uso potencial de agentes clarificantes y desinfectantes de origen de origen natural para el tratamiento integral del agua caracterizado por pisos térmicos”, pretende aportar un método para que las poblaciones puedan tener conocimientos y hacer uso de sus recursos, creando un compuesto natural vinculando dos agentes coagulantes - desinfectantes que ofrezcan una solución integral para las comunidades. Mediante el método de jarras se determinó la efectividad del aloe vera, tuna y las semillas de frejoles, haba, maíz, maracuyá, papa y durazno, siendo estos los más destacados, estas semillas fueron secadas, molidas, tamizadas, para luego agregarles agua destilada como disolvente; para ello se tuvo en cuenta el pH, color y turbidez para determinar las dosis optimas de aplicación del coagulante, recolectando agua del río Combeima (Ibagué, Tolima) para la aplicación de coagulantes vegetales, usando de 40 mg/L a una velocidad de 200 rpm, se obtuvo como resultados previos la alta eficacia como coagulante a las semillas de frejol, de maíz y de maracuyá, y a su vez se obtuvo gran eficacia en el uso de vegetales como aloe vera y tuna.

Según **Guzmán, et al (2013)**, en su artículo “Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión”, se estudió la eficacia de algunos coagulantes vegetales, mediante revisiones bibliográficas de estudios anteriores, se analizó como principales coagulantes el cactus del genero *Opuntia* (familia Cactaceae) comúnmente conocido como tuna, aloe vera conocida comúnmente como penca sábila, semillas de roble turco (*Q. Cerris*), *Moringa Oleífera* conocida comúnmente como jacinto, los cuales demostraron tener alta eficiencia en cuanto al tratamiento de aguas con alta turbidez, se realizaron pruebas controladas mediante el método de jarras para cada uno de los estudios realizados que determinaron la efectividad de estos coagulantes, usando velocidades de 250 rpm a 30 minutos de agitación en dosis de 50 ml/L; de este modo se llegó a la conclusión de que el uso de estos coagulantes vegetales economiza el costo de tratamiento en un 25-30%, reduciendo la dosis del coagulante químico a usar en el caso de tratamientos para potabilizar agua usada para consumo y brindando lodos biodegradables libres de agentes químicos, los cuales pueden ser usados como abono.

Según **Wilchez, et al (2013)**, en su artículo “Alternativa para potabilización de agua en zonas rurales”, propone el uso de coagulantes vegetales para el tratamiento de aguas turbias de las zonas rurales de Pamplona, las cuales no cuentan con red de abastecimiento de agua potable, generando un alto índice de enfermedades diarreicas agudas. Se tiene como objetivo principal la aplicación de la especie moringa oleífera y opuntia ficus-indica para el tratamientos de estas aguas, como método de prueba se introdujeron las semillas pulverizadas de moringa oleífera y el mucilago de la opuntia al agua captada contenida en un recipiente cilíndrico de 5 litros, en donde se agregó 30 g de moringa oleífera y 45 g de opuntia, se agitó rápidamente hasta formar los floculos de forma ascendente y decantando las arenas, proceso que tardó 5 minutos aproximadamente, para finalizar el proceso se realiza el filtrado y la desinfección, se llegó a la conclusión que el método utilizado se puede obtener agua potable de alta calidad manteniendo sus características fisicoquímicas en valores aceptables para el consumo humano.

Según **Lozano (2012)**, en su artículo “Uso del extracto de Fique (*Furcraea* sp.) como coadyuvante de coagulación en el tratamiento de lixiviados”, propone el uso de extracto de hojas de fique como coadyuvante de coagulación del cloruro férrico hexahidrato, teniendo como objetivo el de medir la eficacia del producto vegetal para determinar si existen variaciones en la turbidez, color, DQO, solidos disueltos totales y pH luego de usar dicho producto, este producto se probó mediante el método de jarras, se probó a una velocidad de 200 rpm y a una dosis de 1g por cada ml de agua destilada para la preparación de solución base, dando como resultados el 15% de la remoción de turbidez, concluyendo a su vez que el uso de extracto de hojas de fique equivale a un ahorro adicional de 1000 mg/L de dosis del coagulante cloruro férrico hexahidrato, cabe recalcar también que el uso de esta especie vegetal no representaría riesgos para la salud ya que no existen pruebas que evidencie su toxicidad.

Según **Melo y Turriago (2012)**, en su proyecto “Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de moringa oleífera como una alternativa de biorremediación en la purificación superficiales del caño cola de pato ubicado en el sector rural del municipio de Acacias”, propone el uso de Moringa oleífera, comúnmente conocida como jacinto, como coagulante primario en la depuración y clarificación de aguas, evaluando su eficiencia en el proceso de clarificación, tomando en cuenta variables como dureza y alcalinidad, la dosis optima y tiempo de agitación, color y DQO; para su respectivo análisis se procedió a tomar dos muestras de agua a las cuales se le aplicó el coagulante vegetal en una dosis de 40 mg/L, por medio de agitación durante 15 minutos se logró observar los primeros resultados, observando gran acumulación de floculos, los cuales pueden ser decantados mediante procesos de filtración, llegando a la conclusión de reducción de turbidez en un 84.34% equivalente a la reducción de 230 NTU a 36 NTU, concluyendo que la especie de moringa oleífera puede ser considerada como un sustituto natural en el proceso de coagulación-floculación en el tratamiento de aguas turbias.

1.3. TEORIAS RELACIONADAS AL TEMA:

AGUAS CRUDAS

En la naturaleza el agua no se encuentra pura, siempre tendrá contaminantes ya sea químicos, biológicos, ya que recoge impurezas mientras transcurre su recorrido habitual (ríos, quebradas), las causas más comunes de la contaminación de aguas ya sea cambiando sus aspectos físicos, químicos o microbiológicos, son mayormente la descarga de aguas residuales y aunque en todo cuerpo de agua ocurre una purificación natural, esta no es del todo eficiente para asegurar un agua sanitariamente segura, dando por definición que el agua cruda es aquella que se encuentra de modo natural en el ambiente y que ha sufrido procesos de contaminación y purificaciones naturales, sin tratamiento alguno, de este modo se puede identificar a cuerpos de agua superficiales y subterráneos como ríos, lagos, quebradas, acuíferos (Aguilar A., Edwar 2010).

TURBIDEZ

Definida como propiedad óptica de una muestra para disipar y absorber la luz en vez de transmitirla en línea recta, siendo en el caso del agua causada por material coloidal particulado ya sea mineral, arcilloso, diminutas partículas de materia orgánica e inorgánica, algas, plancton y microorganismos, provocando la coloración del agua. La turbidez aparente de una suspensión está directamente relacionada con el número, masa, índice de refracción y concentración de las partículas, siendo la causa principal de la turbidez del agua la dispersión de arcilla, ya que esta abarca una amplia gama de compuestos, pero generalmente son silicatos de aluminio con diversas formas, adquiriendo plasticidad al mezclarse con el agua (Melo, Turriago 2012).

COAGULACIÓN

Proceso de desestabilización de las partículas coloidales el cual está provocado por un coagulante al contacto con la solución a tratar, este proceso neutraliza las cargas que enlazan a dichas partículas. De acuerdo al tamaño y naturaleza de los coloides estos pueden demorar incluso hasta 100 años para sedimentar de forma natural por acción de la gravedad, el coagulante cumple la función de reducir este tiempo en horas e incluso en minutos (Hernández, Mendoza, Salamanca, Fuentes, Caldera 2013).

FLOCULACIÓN

Proceso en el que se agrupan las partículas según su carga, aglomerándose en los llamados flóculos, este proceso tiene lugar después de la desestabilización de dichas partículas, alcanzando el peso ideal para su pronta precipitación gracias a la gravedad. Actualmente los floculantes más usados son sintéticos, polímeros lineales de elevado peso molecular, solubles en agua y efectivo en bajas concentraciones ya que forman puentes o enlaces entre flocs (Hernández, Mendoza, Salamanca, Fuentes, Caldera 2013).

ALOE VERA

Planta con al redor de 360 especies diferentes la más conocida es *Aloe Chinensis*, pertenece a la familia de las asfodeláceas y liláceas, el tamaño puede alcanzar desde unos cuantos centímetros hasta los 50 cm. El parénquima, la pulpa del aloe vera, está localizado en la parte central de la hoja y representa un aproximado de 65 al 80% del peso de dicha planta. Con respecto a su composición química se ha reportado que este tipo de especies está constituida por una mezcla compleja de compuestos como antraquinonas, vitaminas, minerales, carbohidratos, enzimas, aminoácidos, lípidos y compuestos orgánicos, es capaz de reducir los radicales libres que causan las reacciones de oxidación asociados con diversos padecimientos y enfermedades, es capaz de clarificar el agua, demostrando efectividad en cuanto a coagulación debido a la estructura molécula con la que cuenta. (Domínguez, Arzate, Chanona, Welti, Alvarado, Calderón, Garibay, Gutiérrez 2012)

TUNA

Planta viscosa envuelta en zisos y espinas, la llamada tuna (*Opuntia*) es natural de zonas áridas y pedregosas, en el Perú crecen en mayor parte en la región sierra, su futuro es consumible y de delicioso sabor, las paletas o tallos extraídos de estas plantas son usados como medicina naturista para tratar úlceras estomacales o como antiparasitario, actualmente existen más de 10 especies de tuna, las más abundantes son la tuna naranja (común) y tuna morada (*Opuntia spp.*). Los análisis recientes arrojan resultados con respecto a la alta cantidad de antraquinonas y carbohidratos que contiene esta planta, concentrándose la mayor parte en los tallos lechosos, es de gran ayuda en el proceso de coagulación y desinfección del agua (Aquino, Chavarría, Chávez, Guzmán, Silva 2012).

GOMA DE TARA

La goma de tara es un tipo de hidrocoloide, de origen vegetal, proveniente de las semillas de tara, estos biopolímeros son biodegradables y se pueden consumir, ya que no representan riesgos a la salud. La tara que lleva por nombre científico *Caesalpinia spinosa*, es un árbol originario de Sudamérica, perteneciente a la familia de las leguminosas y que ha sido utilizado desde la época pre hispana como medicina natural. Los taninos de la tara pueden actuar en forma de clarificador, debido a la gran cantidad proteínica que esta cuenta, contienen elemento usado como decolorante y antioxidante, además de contar con peso molecular considerable está compuesta en su mayoría por polisacáridos, presentando características gelificante o de suspensión viscosa en bajas concentraciones. La goma en polvo adopta coloraciones claras o cremas, es de fácil conservación una vez secada y pulverizada, es inodora, insípida y muy estable a temperatura ambiente y de fácil obtención (Vargas, Javier 2015).

CANTIDAD DE RECURSO VEGETAL

La cantidad de recurso vegetal a usar como coagulante-floculante es de suma importancia, ya que dependerá del adecuado manejo de estas cantidades para obtener los resultados esperados en cuanto a disminuir la turbidez del agua a tratar, esta cantidad será considerada en gramos teniendo en cuenta aspectos como la cantidad de agua a tratar en las pruebas de laboratorio (Revelo, Proaño, Banchón 2015).

TIEMPO DE CONTACTO

El tiempo de contacto es básicamente el tiempo de mezclado en el que interactúan tanto el coagulante-floculante vegetal y las muestras de agua a usar, este proceso debe ser vigilado constantemente, puesto que se debe considerar como tiempo inicial desde momento de contacto y tiempo de efectividad desde la formación de los primeros flóculos, se toman en cuenta el tiempo medido en minutos para las pruebas de laboratorio (Mojica, López, Mannsbach 2016)

VELOCIDAD DE AGITACIÓN

La velocidad se toma en cuenta en el caso de acelerar el proceso de floculación de los coloides, ya que estos por su pequeño tamaño son de difícil sedimentación, ayudando a la aglomeración rápida de las partículas que causan la turbidez en el agua a tratar, la velocidad de agitación se medirá mediante revoluciones por minuto, las cuales pueden ir en intervalos iniciando de manera veloz a lenta o de forma constante (Olivero, Aguas, Mercado, Casas, Montes 2014).

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:

¿En qué medida se logra disminuir la turbidez del agua del río Crisnejas que consume la comunidad de Chuquibamba - Cajabamba utilizando *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa*?

1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO:

La contaminación del agua es un problema que se viene acarreado durante muchos años, la falta de un correcto gestionamiento de este recurso logra causar estragos en cuanto a su aprovechamiento sostenible, aunque la tecnología vaya en aumento y sea accesible para países que cuentan con un crecimiento económico favorable, esta no es costeable por las zonas más pobres, el uso de alternativas ecológicas y seguras para la potabilización del agua son necesarias en zonas de alto índice de pobreza. Los coagulantes – floculantes de origen vegetal en proceso de clarificación del agua podría ser la solución al problema del tratamiento de la turbidez, preparando el agua para su posterior desinfección (Ramírez, Jaramillo 2014).

Las pruebas correspondientes en cuanto a efectividad en la disminución de la turbidez del agua en la zona de Chuquibamba usando tres de sus recursos vegetales, brindarían alcances en cuanto a cuál sería el mejor remplazante para los coagulantes químicos, contribuyendo a la solución del problema de la turbidez del agua en dicha zona, utilizando sus propios recursos que no son aprovechados; además cabe recalcar que el uso de estas especies no causan riesgos para la salud, no son tóxicos y en algunos casos son usados como

medicina naturista antibacteriano como es el caso de la tara y el aloe vera cuyas infusiones y/o mucílago pueden tratar infecciones.

En este proyecto de investigación se busca usar los recursos naturales existentes en la zona de estudio que son de fácil alcance y en su mayoría vegetales de poco uso o interés para los pobladores; además de que estos podrían variar su efectividad dependiendo de las características del agua de la zona a estudiar, de igual modo se ve involucrado la minimización de gastos en el tratamiento del agua, mejor conocimiento del manejo de los coagulantes-floculantes *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa*, de esta manera los poblados de Chuquibamba – Cajabamba puede mejorar el agua que se consume en dicha zona y a su vez mejorar la salud de los pobladores.

1.6. HIPÓTESIS:

La turbidez del agua del río Crisnejas, Chuquibamba – Cajabamba se disminuirá en un 50% al utilizar *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa* como coagulante-floculante.

1.7. OBJETIVOS:

1.7.1. GENERAL:

- Determinar la disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas que consume la población de Chuquibamba-Cajabamba utilizando *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa*.

1.7.2. ESPECÍFICOS:

- Identificar la disminución de la turbidez de agua utilizando dos diferentes cantidades de *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa*.
- Identificar la disminución de la turbidez del agua a tres diferentes tiempos de contacto.
- Identificar la disminución de la turbidez del agua a dos velocidades de agitación.

II. METODOLOGÍA:

2.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:

El diseño de esta investigación es experimental trifactorial, de tal manera que se manipulen las variables en simultáneo con el propósito de estudiar el efecto independiente que cada variable produce en el dependiente.

Se tendrán representadas las variables independientes de la siguiente manera:

- Recurso vegetal, Tuna = RV1
- Recurso vegetal, Aloe vera = RV2
- Recurso vegetal, Tara = RV3
- Cantidad de recurso vegetal = CR
- Tiempo de contacto = TC
- Velocidad de agitación = VA

CUADRO N° 1: APLICACIÓN DEL DISEÑO TRIFACTORIAL

| | VA1 | | | VA2 | | | Total combinaciones |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|
| | TC1 | TC2 | TC3 | TC1 | TC2 | TC3 | |
| RV1 | | | | | | | |
| CR1 | CR1 TC1 VA1 | CR1 TC2 VA1 | CR1 TC3 VA1 | CR1 TC1 VA2 | CR1 TC2 VA2 | CR1 TC3 VA2 | CR1: 6 |
| CR2 | CR2 TC1 VA1 | CR2 TC2 VA1 | CR2 TC3 VA1 | CR2 TC1 VA2 | CR2 TC2 VA2 | CR2 TC3 VA2 | CR2: 6 |
| RV2 | | | | | | | |
| CR1 | CR1 TC1 VA1 | CR1 TC2 VA1 | CR1 TC3 VA1 | CR1 TC1 VA2 | CR1 TC2 VA2 | CR1 TC3 VA2 | CR1: 6 |
| CR2 | CR2 TC1 VA1 | CR2 TC2 VA1 | CR2 TC3 VA1 | CR2 TC1 VA2 | CR2 TC2 VA2 | CR2 TC3 VA2 | CR2: 6 |
| RV3 | | | | | | | |
| CR1 | CR1 TC1 VA1 | CR1 TC2 VA1 | CR1 TC3 VA1 | CR1 TC1 VA2 | CR1 TC2 VA2 | CR1 TC3 VA2 | CR1:6 |
| CR2 | CR2 TC1 VA1 | CR2 TC2 VA1 | CR2 TC3 VA1 | CR2 TC1 VA2 | CR2 TC2 VA2 | CR2 TC3 VA2 | CR2: 6 |
| Total combinaciones | TC1: 6 | TC2: 6 | TC3: 6 | TC1: 6 | TC2: 6 | TC3: 6 | TOTAL 108 |
| | VA1: 6 | VA1: 6 | VA1: 6 | VA2: 6 | VA2: 6 | VA2: 6 | |
| total | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | |

*Se necesitarán un total de 108 muestras.

2.2. VARIABLES, OPERALIZACIÓN:

| Variable Dependiente | Variable independiente | Definición conceptual | Definición operacional | Indicadores | Escala de medición |
|----------------------|-----------------------------|---|----------------------------------|-------------|--------------------|
| Turbidez del agua | Cantidad de recurso vegetal | Cantidad de cada recurso natural a usar como coagulante-floculante (Revelo, Proaño, Banchón 2015). | Uso de balanza analítica. | gr. | intervalo |
| | Tiempo de contacto. | Tiempo (min) en el que se encontrará en contacto el coagulante-floculante vegetal con el agua a tratar (Revelo, Proaño, Banchón 2015). | Uso de cronómetro. | Minutos | intervalo |
| | Velocidad de agitación | Velocidad en revoluciones por minuto a la que se expondrán las muestras, con la finalidad de acelerar el proceso de mezclado y formación de floculos (Olivero, Aguas, Mercado, Casas, Montes 2014). | Uso de equipo de test de jarras. | rpm | intervalo |

2.3. POBLACIÓN Y MUESTRA:

POBLACIÓN:

La población se constituyó por las aguas del río Crisnejas captadas en la bocatoma del reservorio Chuquibamba coordenadas 7°38'0.74"S y 78° 8'41.70"O

MUESTRA:

La muestra estuvo constituida por tres tomas, aproximadas de 108 litros de agua las cuales se tomaron en tres tiempos entre Agosto, Septiembre y Noviembre, estas fueron mezcladas para obtener homogeneidad, el punto de muestreo fue en las coordenadas 7 ° 38'0.74"S y 78° 8'41.70"O, la cual se usó para análisis y experimentación con el método de coagulación-floculación. Se tomaron 1000 ml de agua para cada prueba que se realizaba con el test de jarras, el método de elección de dichas muestras se realizó de forma aleatoria.

2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:

2.4.1. TÉCNICAS:

Para la determinación de la disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas se usó una serie de técnicas analíticas, como es el caso de la aplicación de la prueba de jarras, que posibilitarán la recolección de datos como los resultados que se obtuvieron a diferentes cantidades y velocidades de agitación, de este modo se conoció cuantitativamente el proceso de clarificación de las muestras de agua que se obtendrán del río Crisnejas.

Se usaron datos como la única turbidez inicial del agua la cual se determinó mediante el uso de un equipo denominado Turbidímetro-Nefelómetro portátil HI 93703 C, el cual se usó también para medir la turbidez final una vez aplicado el coagulante-floculante, las velocidades de agitación y tiempos de contacto los cuales se pudieron controlar mediante el uso del equipo de test de jarras B-KER y cronómetro respectivamente, y por último se midieron las cantidades de recurso vegetal a usarse utilizando una balanza analítica.

2.4.2. INSTRUMENTOS:

| Técnica | Instrumento |
|--------------------------------------|---------------------------|
| Aplicación de test de jarras. | Turbidímetro. |
| | Balanza analítica. |
| | Estufa. |
| | Equipo de test de jarras. |

Verificación y validez

La verificación operacional de los equipos y materiales que se usaron para el desarrollo de los análisis con los que se trabajó durante la ejecución del proyecto, fue realizada por una empresa correspondiente al rubro, empresa contratada por el personal administrativo del Laboratorio de Aguas Residuales de la Universidad Nacional de Trujillo.

MÉTODO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

| Equipo | Método de Calibración |
|--------------------------|------------------------------|
| Balanza analítica | |
| Turbidímetro | Norma Metrológica Peruana |
| Prueba de jarras | 003 .12. 2009 |

En el caso de caracterización de las aguas a tratar, se usó la Normativa EPA, tanto para marchas analíticas para dureza total, pH, Conductividad y sólidos. En el caso de la determinación de la turbidez se usó la Normativa EPA método 180.1, en la cual se describe el procedimiento para la determinación de dicho parámetro, de igual modo la validación del instrumento de recolección de datos o ficha de resultados elaborada por el investigador, estuvo a cargo de profesionales especialistas los cuales dieron el visto bueno para su aprobación.

2.5. MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS:

El análisis estadístico se realizó en base al ANOVA trifactorial, mediante el programa estadístico IBM SPSS Statistics., en el que se determinó la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos aplicados, manejándolos bajo un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

2.6. ASPÉCTOS ÉTICOS:

Debido a la importancia de la calibración de equipos para los respectivos análisis que se desarrollaron en este proyecto de investigación, se vio en la necesidad de buscar equipos con certificación de calibración, que cuenten con revisiones periódicas y se encuentren en buen estado. Es también de importancia considerar que al utilizar laboratorios externos se solicitó y realizó al tratamiento de los residuos que implique riesgos tras la realización del análisis correspondiente a este proyecto de investigación, evitando perjudicar el medio ambiente y las infraestructuras de saneamiento.

III. RESULTADOS:

Tabla N° 1: Resultados de la aplicación del tratamiento coagulación-floculación, usando *Opuntia ficus indica* en las aguas del río Crisnejas, Chuquibamba-Cajabamba.

| <i>Opuntia ficus indica</i> | | Tiempo (5 min) | Tiempo (15 min) | Tiempo (20 min) |
|-----------------------------|-------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | | Turbidez (NTU) | | |
| Velocidad (100rpm) | Cantidad (6gr) | 210 | 209 | 211 |
| | | 208 | 195 | 198 |
| | | 209 | 207 | 206 |
| | Promedio | 209 | 204 | 205 |
| | Cantidad (9gr) | 213 | 211 | 213 |
| | | 209 | 208 | 209 |
| | | 211 | 211 | 212 |
| | Promedio | 211 | 210 | 211,33 |
| | Cantidad (6gr) | 218 | 216 | 223 |
| | | 217 | 222 | 213 |
| | | 225 | 215 | 221 |
| Velocidad (200rpm) | Promedio | 220 | 217,67 | 219 |
| | Cantidad (9gr) | 217 | 224 | 223 |
| | | 223 | 218 | 218 |
| | | 226 | 220 | 224 |
| | Promedio | 222 | 220,67 | 221,67 |

Elaboración: Propia

En esta tabla se muestran los resultados de la reducción de la turbidez de las aguas una vez aplicado el tratamiento, con sus respectivos promedios resaltados según la combinación correspondiente de las variables, usando recurso vegetal *Opuntia ficus indica*, obtenidos mediante la prueba del test de jarras.

Tabla N° 2: Resultados de la aplicación del tratamiento coagulación-floculación, usando *Caesalpinia spinosa* en las aguas del río Crisnejas, Chuquibamba-Cajabamba.

| <i>Caesalpinia spinosa</i> | | Tiempo (5 min) | Tiempo (15 min) | Tiempo (20 min) |
|----------------------------|-------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | | Turbidez (NTU) | | |
| Velocidad (100rpm) | Cantidad (6gr) | 283 | 284 | 285 |
| | | 279 | 280 | 279 |
| | | 283 | 279 | 282 |
| | Promedio | 281,67 | 281 | 282 |
| | Cantidad (9gr) | 289 | 286 | 284 |
| | | 283 | 280 | 285 |
| | | 281 | 284 | 283 |
| | Promedio | 284,33 | 283 | 284 |
| | Cantidad (6gr) | 287 | 283 | 286 |
| | | 283 | 282 | 283 |
| | | 285 | 284 | 285 |
| Velocidad (200rpm) | Promedio | 285 | 283 | 284,67 |
| | Cantidad (9gr) | 287 | 283 | 284 |
| | | 284 | 282 | 283 |
| | | 282 | 284 | 287 |
| | Promedio | 284,33 | 283 | 284,67 |

Elaboración: Propia

En esta tabla se muestran los resultados de la reducción de la turbidez de las aguas una vez aplicado el tratamiento, con sus respectivos promedios resaltados según la combinación correspondiente de las variables, usando recurso vegetal *Caesalpinia spinosa*, obtenidos mediante la prueba del test de jarras.

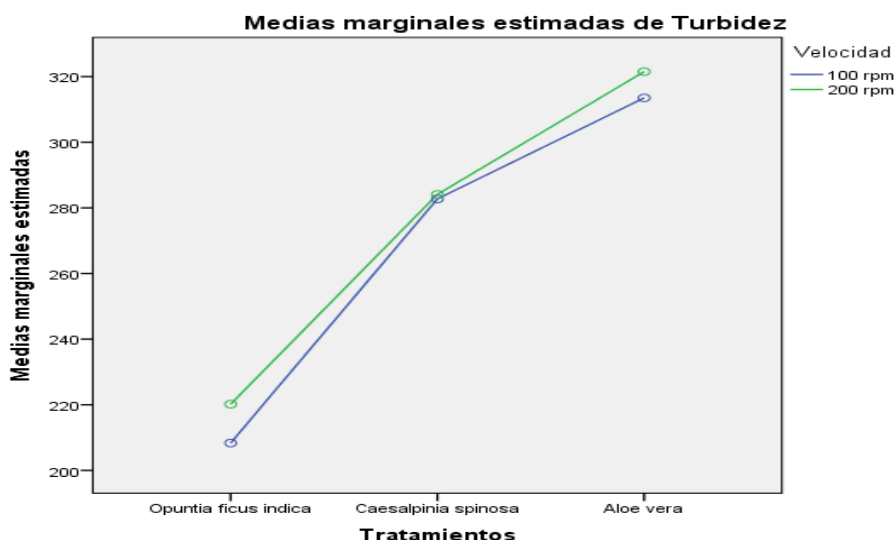
Tabla N° 3: Resultados de la aplicación del tratamiento coagulación-floculación, usando *Aloe vera* en las aguas del río Crisnejas, Chuquibamba-Cajabamba.

| <i>Aloe vera</i> | | Tiempo (5 min) | Tiempo (15 min) | Tiempo (20 min) |
|-----------------------|-------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | | Turbidez (NTU) | | |
| Velocidad (100rpm) | Cantidad (6gr) | 314 | 311 | 314 |
| | | 312 | 310 | 311 |
| | | 313 | 314 | 312 |
| | Promedio | 313 | 312 | 312,33 |
| | Cantidad (9gr) | 316 | 316 | 315 |
| | | 313 | 314 | 313 |
| | | 317 | 312 | 316 |
| | Promedio | 315 | 314 | 314,67 |
| Velocidad (200rpm) | Cantidad (6gr) | 323 | 321 | 321 |
| | | 320 | 319 | 321 |
| | | 326 | 324 | 324 |
| | Promedio | 323 | 321,33 | 322 |
| | Cantidad (9gr) | 325 | 317 | 322 |
| | | 315 | 314 | 320 |
| | | 324 | 325 | 326 |
| | Promedio | 321,33 | 318,67 | 322,67 |

Elaboración: Propia

En esta tabla se muestran los resultados de la reducción de la turbidez de las aguas una vez aplicado el tratamiento, con sus respectivos promedios resaltados según la combinación correspondiente de las variables, usando recurso vegetal *Aloe vera*, obtenidos mediante la prueba del test de jarras.

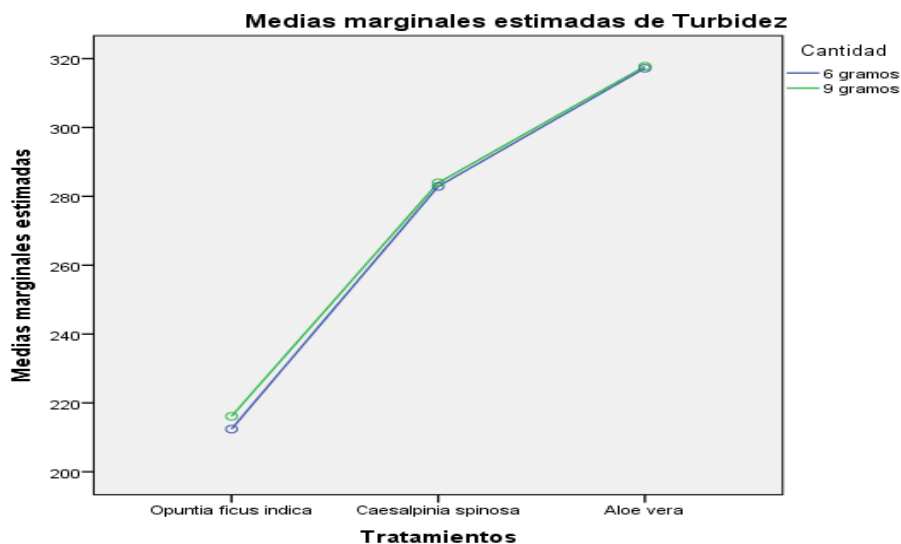
Gráfica N° 1: Disminución de la turbidez (NTU) del río Crisnejas, Chuquibamba-Cajabamba, con respecto a la velocidad de agitación.



Fuente: IBM SPSS Statistics.

En la gráfica se muestra la disminución de la turbidez con respecto a la velocidad de agitación y el recurso vegetal usado, como se observa existen mejores resultados de disminución al aplicar la velocidad de 100 rpm.

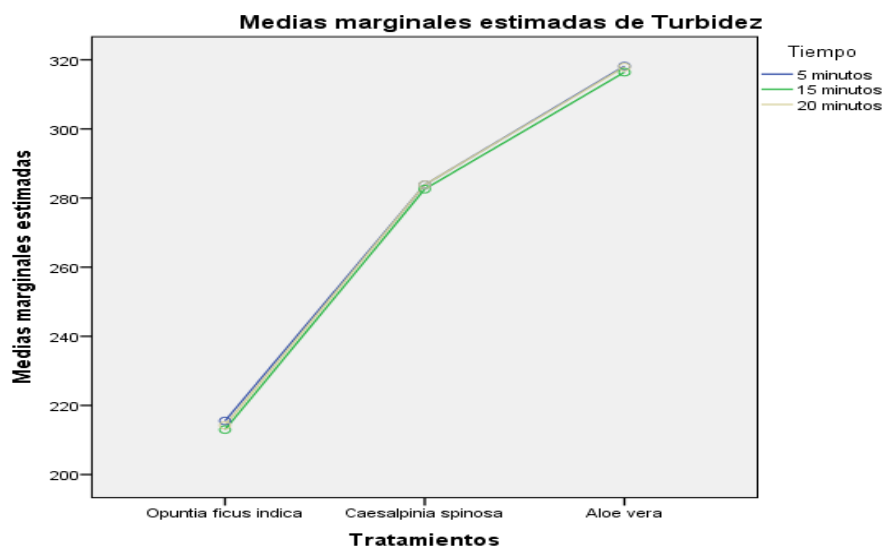
Gráfica N° 2: Disminución de la turbidez (NTU) del río Crisnejas, Chuquibamba-Cajabamba, con respecto a la cantidad de recurso vegetal.



Fuente: IBM SPSS Statistics.

En la gráfica se muestra la disminución de la turbidez con respecto a la cantidad del recurso y el recurso vegetal usado, como se observa existen mejores resultados de disminución al aplicar la cantidad de 6 gr.; sin embargo la variación es mínima.

Gráfica N° 3: Disminución de la turbidez (NTU) del río Crisnejas, Chuquibamba-Cajabamba, con respecto al tiempo de contacto.



Fuente: IBM SPSS Statistics.

En la gráfica se muestra la disminución de la turbidez con respecto al tiempo de contacto y el recurso vegetal usado, como se observa no existen diferencias significativas en los resultados al utilizar estos tres tiempos de contacto.

Tabla N° 4: Pruebas post hoc

| | (I) Producto | (J) Producto | Diferencia de medias (I-J) | Error estándar | Sig. | Intervalo de confianza al 95% | |
|-----------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|----------------|------|-------------------------------|-----------------|
| | | | | | | Límite inferior | Límite superior |
| HSD Tukey | Opuntia ficus indica. | Caesalpinia spinosa. | -69,17* | ,777 | ,000 | -71,03 | -67,31 |
| | | Aloe vera. | -103,25* | ,777 | ,000 | -105,11 | -101,39 |
| | Caesalpinia spinosa. | Opuntia ficus indica. | 69,17* | ,777 | ,000 | 67,31 | 71,03 |
| | | Aloe vera. | -34,08* | ,777 | ,000 | -35,94 | -32,22 |
| | Aloe vera. | Opuntia ficus indica. | 103,25* | ,777 | ,000 | 101,39 | 105,11 |
| | | Caesalpinia spinosa. | 34,08* | ,777 | ,000 | 32,22 | 35,94 |
| Scheffe | Opuntia ficus indica. | Caesalpinia spinosa. | -69,17* | ,777 | ,000 | -71,11 | -67,22 |
| | | Aloe vera. | -103,25* | ,777 | ,000 | -105,19 | -101,31 |
| | Caesalpinia spinosa. | Opuntia ficus indica. | 69,17* | ,777 | ,000 | 67,22 | 71,11 |
| | | Aloe vera. | -34,08* | ,777 | ,000 | -36,03 | -32,14 |
| | Aloe vera. | Opuntia ficus indica. | 103,25* | ,777 | ,000 | 101,31 | 105,19 |
| | | Caesalpinia spinosa. | 34,08* | ,777 | ,000 | 32,14 | 36,03 |

Fuente: IBM SPSS Statistics.

En la tabla se puede observar las comparaciones múltiples entre tratamientos, por lo que se observa que el tratamiento más eficiente en la reducción de la turbidez es el de la *Opuntia ficus indica*, seguida de la *Caesalpinia spinosa* y por último el *Aloe vera*, los datos analizados tienen un alto grado de significancia ya que son menores a 0.05.

IV. DISCUSIÓN:

En cuanto al agua del río Crisnejas, Chuquibamba – Cajabamba presenta predisposición para un buen tratamiento de coagulación-floculación, ya que sus niveles de pH se encuentran dentro del rango adecuado para el proceso, siendo este de pH 7,43; el cual beneficiaría al proceso de coagulación-floculación como lo indica Lozano (2012) en su artículo, en el que asegura que pH que estén en el rango de 7-8 serían los más adecuados para el proceso; por otra parte existe presencia de sólidos suspendidos de hasta 4424,3 ppm, como lo indica el Tabla N° 8 - ANEXO I, los cuales serían los causantes de los niveles altos de turbidez del agua, Revelo, Proaño y Banchón (2015) indican que las aguas que sobrepasan la concentración de 3000 ppm de sólidos suspendidos tienden a tener grados de turbidez mayor a 100 NTU.

Como se puede apreciar en el Grafica N° 1 la velocidad de agitación influye en la disminución de la turbidez del agua al aplicar los tratamientos, esto se puede ver reflejado en las pruebas de efectos inter-sujetos (ANEXO III - Cuadro N° 3) en donde se puede encontrar un nivel de significancia alto según Duglas C. Montgomery (2004) en su libro estadístico “Diseño y Análisis de Experimentos”, ya que es menor a 0,05, por lo que se puede afirmar que influye en la disminución de la turbidez; por otra parte como se observa en dicho gráfico con la velocidad de 100 rpm se favorece la disminución de la turbidez.

De igual modo los señores Contreras, et al (2015) especifican en su investigación que las velocidades usadas de 100 y 200 rpm influyen en gran medida en la disminución de la turbidez, denotando que la velocidad de 100 rpm es más eficiente puesto que favorece al proceso de floculación; sin embargo el señor Olivero, et al (2014) difiere en cuanto a la velocidad de agitación más influyente, alegando que la que tiene mejores resultados es la de 200 rpm.; por otra parte autores como Wilchez, et al (2013) y Revelo, Proaño y Banchón (2015) indican que para el proceso de floculación es mejor usar velocidades menores a las 100 rpm.

Con respecto a la variable cantidad del recurso vegetal usado y su influencia en la disminución de la turbidez del agua como se denota el Gráfico N° 2, existe variaciones mínimas en las pruebas de efectos inter-sujetos (ANEXO III - Cuadro N° 3) siendo no significativa puesto que es mayor que 0,05, por lo que se denota que no influye en gran manera en la disminución de la turbidez; sin embargo los señores Wilchez, et al (2013), exponen que al usarse cantidades de 9 y 6 g/L, la más eficiente es del 6 g/L, como se denota en la gráfica antes mencionada la cantidad de 6 g funciona mejor en el proceso de coagulación-floculación.

En cuanto a la variable del tiempo de contacto y su influencia sobre la variable de disminución de la turbidez del agua, se puede observar en las pruebas de efectos inter-sujetos (ANEXO III - Cuadro N° 3) que es una variable no significativa puesto que el valor de significancia es mayor a 0,05, esto indica que no influye en gran manera en la disminución de la turbidez del agua, si se observa el Gráfico N° 3 los tiempos de contacto los tres tiempos tienen influencia similar en cuanto a la reducción de la turbidez; sin embargo autores como Revelo, Proaño y Banchón (2015) y Contreras, et al (2015) aseguran que el tiempo más eficiente para el proceso de coagulación-floculación es el de 20 minutos; sin embargo los señores Ramírez y Jaramillo (2015), especifican que el mejor tiempo de contacto para mejores resultados en la disminución de la turbidez oscilan entre los 5-15 minutos.

En cuanto a los análisis de datos realizados con la prueba ANOVA trifactorial, ubicada en el ANEXO III se tomaron en cuenta las pruebas de homogeneidad de varianza y prueba de normalidad, en la cual dio como resultado la aceptación de la hipótesis alterna, aceptando que los datos analizados son homogéneos y siguen una distribución normal, puesto que es mayor al grado de significancia de 0.05, en todo caso es posible la aplicación de análisis ANOVA para los datos expuestos como lo refiere Duglas C. Montgomery (2004) en su libro estadístico “Diseño y Análisis de Experimentos”.

Por otra parte como se observa en la Tabla N° 4, se puede observar las Pruebas post hoc de comparaciones múltiples, en la que se puede identificar al recurso vegetal *Opuntia ficus indica* como el más eficiente en la disminución de la turbidez, seguido de *Caesalpinia spinosa* en segundo lugar y *Aloe vera* en tercer lugar, como se indica en las pruebas de eficiencia, dando resultados equivalentes tanto en las pruebas de HSD Tukey, Duncan, Scheffe; de igual modo en el ANEXO III - APENDICE A, la diferencia entre los tratamientos es relevante.

De igual modo se denota una disminución de la turbidez en un 61,09% al aplicar el tratamiento con *Opuntia ficus indica* coincidiendo con lo especificado por los señores Contreras, et al (2015) alegando que al aplicar el tratamiento con dicho coagulante –floculante puede reducir la turbidez hasta en un 80% como máximo y un 50% como mínimo; sin embargo autores como Olivero, et al (2014) alegan que la reducción de la turbidez se verá hasta en un 83.66% al usar este tratamiento, por lo que se denota que el tratamiento de *Opuntia ficus indica* reduce mejor la turbidez.

En el caso de *Caesalpinia spinosa* la reducción de la turbidez está en el 48,47% oscilando entre los valores que indica Revelo, Proaño y Banchón (2015) siendo estos una reducción de la turbidez entre un 25-52% al usar este tipo de tratamiento, de igual modo los señores Kumar, et al (2015) indica que al aplicar el tratamiento con la tara se reducirá la turbidez en un 65.25%, valores comparados con los resultados al aplicar *Opuntia ficus indica*, sin embargo como es el caso del *Aloe vera* la reducción de la turbidez fue mínima, en un 42.48% cercano a los valores que indican los señores Kumar, et al (2015) que indican que en cuanto a la eficiencia de este tratamiento es de 50% e la reducción de la turbidez

En las tablas N° 5, 6 y 7 del ANEXO I, APENDICE A, se puede denotar el balance de masa para cada uno de los coagulantes-floculantes vegetales, en cuanto a la obtención de *Opuntia ficus indica* se denota una pérdida general de un 87,73% desde su obtención en verde como paletas de tuna, siendo un 12,27% aprovechable y teniendo como humedad un 70,00% de las paletas en verde; de igual modo en el caso de *Caesalpinia spinosa* se denota una pérdida de materia en un 50,25%, por lo que solo un 49,75% es aprovechable, ya que el 25,32% es humedad de la goma de tara en verde; en cuando al vegetal *Aloe vera* se denota una pérdida de 86,94%, muy parecida a la *Opuntia ficus indica* debido a que las dos están compuestos de gel, solo un 13,06% es aprovechable, demostrando una humedad de 76,48%.

V. CONCLUSIONES:

1. La disminución de la turbidez del agua que consume la población de Chuquibamba-Cajabamba, se realizó de manera favorable, logrando reducir la turbidez en un 61,09% al usar *Opuntia ficus indica*, en un 48,47% al usar *Caesalpinia spinosa* y en un 42,48% en el caso del uso de *Aloe vera*, siendo *Opuntia ficus indica* la más efectiva.
2. Con respecto a la cantidad del recurso vegetal usado la variación de la turbidez es mínima; sin embargo se puede observar que la mejor cantidad a usar es la de 6 g, demostrando mayor eficiencia en la reducción de la turbidez; sin embargo en el caso de los tratamientos *Caesalpinia spinosa* y *Aloe vera* las cantidades de coagulante-floculante vegetal influyen de manera muy mínima ya sea para cantidades de 6 g y 9 g, no se denota mucha diferencia.
3. La reducción de la turbidez del agua al con respecto al tiempo, tres diferentes tiempos no influye en el proceso de reducción de la turbidez, debido a que hay similitudes en los resultados en los tres tiempos.

4. La reducción de la turbidez del agua al utilizar dos velocidades influye de manera significativa, siendo la velocidad más eficaz la de 100 rpm, dando resultados favorables en el proceso de reducción de la turbidez; sin embargo se denota que en el tratamiento *Caesalpinia spinosa* la influencia de la velocidad de agitación es mínima.
5. El mejor coagulante-floculante vegetal a aplicar a el agua que consume la población de Chuquibamba-Cajabamba es el de *Opuntia ficus indica* debido a su alto grado de reducción de la turbidez de estas aguas, como segunda alternativa se puede tener a *Caesalpinia spinosa* ya que también presenta gran eficiencia en la reducción de la turbidez.
6. Al aplicar los tratamientos se observa que el pH no es alterado en gran manera al aplicar el tratamiento vegetal ya sea con *Opuntia ficus indica*, *Caesalpinia spinosa* o con *Aloe vera*, puesto que la ser medido luego de la aplicación del tratamiento no se denotan cambios significativos.
7. Se concluye que la hipótesis general se acepta, puesto que se logró reducir la turbidez en más de un 50% en el caso del tratamiento aplicado usando *Opuntia ficus indica*; sin embargo con los tratamientos de *Caesalpinia spinosa* y *Aloe vera* la reducción de la turbidez está bordeando entre el 40-50%.

VI. RECOMENDACIONES:

- En el caso de mejor eficiencia en los resultados de disminución de la turbidez, se recomienda tratamiento previo al coagulante-floculante vegetal, con el fin de extraer aceites que puedan alterar el proceso de floculación.
- En cuanto a eficiencias del coagulante –floculante el *Opuntia ficus indica* y *Caesalpinia spinosa* brinda mejores resultados; sin embargo en el caso de fácil extracción del coagulante para uso rápido se recomienda aplicar el coagulante-floculante vegetal *Aloe vera* y *Opuntia ficus indica* debido a su fácil manejo.
- Es posible la aplicación del proceso de coagulación-floculación de manera casera, ya que los productos vegetales son de fácil acceso y sin necesidades de complicados tratamientos previos, se pueden utilizar brindando resultados favorables.
- Para futuras investigaciones, se puede tomar el tema de determinar la reducción bacteriológica al aplicar el tratamiento de coagulación-floculación expuesto en esta tesis.
- Para futuras investigaciones, se puede tomar en cuenta la dosificación del producto a diferentes temperaturas, las cuales pueden brindar alcances si es que el tratamiento con recursos vegetales pueden ser aplicables a zonas con bajas temperaturas.
- Ya que el costo en el proceso de coagulación-floculación se reduce al aplicar este tipo de tratamientos, es recomendable para aplicar a zonas de bajo desarrollo económico como una medida de prevención sanitaria en cuanto al consumo de aguas que tengan alta turbidez.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AGUILAR A., EDWAR. *Utilización de semillas de tara (Caesalpinia spinosa) como ayudante de coagulación en el tratamiento de aguas*. Universidad Nacional de Ingeniería. 2010. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario. [Fecha de consulta 15 Abril 2016].

AQUINO, E., CHAVARRÍA, Y., CHÁVEZ, J., GUZMÁN, R., SILVA, E. *Caracterización fisicoquímica de siete variedades de tuna (Opuntia spp.) color rojo-violeta y estabilidad del pigmento de las dos variedades con mayor concentración*. Dialnet [online]. 2012. Vol. 1, no. 55, p. 3-10. [Fecha de consulta 7 Abril 2016]. Disponible: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4035433ISSN-e 1665-4412>

CONTRERAS, K., AGUAS Y., SALCEDO, G., OLIVERO, R., MENDOZA, G. *El Nopal (Opuntia ficus-indica) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua*. Revista Producción + Limpia [online]. 2015. Vol. 10, no. 1, p. 40-50. [Fecha de consulta 7 Abril 2016]. Disponible: <http://hdl.handle.net/10567/1333ISSN 1909-0455>.

DIRECCIÓN NACIONAL DE MEDIO AMBIENTE. *Manual de procedimientos analíticos para aguas y efluentes*. Lima, 2010.

DOMÍNGUEZ, R., ARZATE, I., CHANONA, J., WELTI, J., ALVARADO, J., CALDERÓN, G., GARIBAY, V. AND GUTIÉRREZ, G. *El gel de Aloe vera: estructura, composición química, procesamiento, actividad biológica e importancia en la industria farmacéutica y alimentaria*. Scielo [online]. 2012. Vol. 11, no. 1, p. 2-3-4. [Fecha de consulta 15 Abril 2016]. Disponible: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382012000100003ISSN 1665-2738

GUZMÁN, L., VILLABONA, Á., TEJADA, C., GARCÍA, R. *Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión*. Scielo [online]. 2013. Vol. 16, no. 1, p. 253 - 262. [Fecha de consulta 9 Abril 2016]. Disponible: <http://www.scielo>.

org. co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262013000100029ISSN 0123-4226

HERNÁNDEZ, B., MENDOZA, I., SALAMANCA, M., FUENTES, L., CALDERA, Y. *Semillas de tamarindo (tamarindus indica) como coagulante en aguas con alta turbiedad*. Revicyhluz [online]. 2013. Vol. 3, no. 1 y 2, p. 91-96. [Fecha de consulta 9 Abril 2016]. Disponible: <http://www.produccioncientifica.luz.edu.ve/index.php/redieluz/article/view/19438>ISSN: 2244-7334

KUMAR, S., KRISHNA, G., SIVASANKAR, V. *Coagulation performance evaluation of natural and synthetic coagulants in waste water treatment*. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences [online]. 2015. Vol. 10, no. 6, p. 2714-2717. [Fecha de consulta 7 Abril 2016]. Disponible: http://www.arpnjournals.com/jeas/research_papers/rp_2015/jeas_0415_1820.pdfISSN 1819-6608.

LÓPEZ, R., LAINES, J., HERNÁNDEZ, J., APARICIO, M. *Evaluación de almidones de malanga (colocasia esculenta) como agentes coadyuvantes en la remoción de turbiedad en el proceso de potabilización del agua*. Scielo [online]. 2014. Vol. 13, no. 3, p. 855-863. [Fecha de consulta 7 April 2016]. Disponible: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-27382014000300018&script=sci_abstractISSN 1665-2738

LOZANO, William. *Uso del extracto de Fique (Furcraea sp.) como coadyuvante de coagulación en tratamiento de lixiviados*. Contaminación Ambiental [online]. 2012. Vol. 28, no. 3, p. 219-227. [Fecha de consulta 13 Abril 2016]. Disponible: <http://www.revistascca.unam.mx/rca/index.php/rca/article/view/32534>

MELO, G., TURRIAGO, F. *Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de moringa oleífera como una alternativa de biorremediación en la purificación superficiales del caño cola de pato ubicado en el sector rural del municipio de Acacias*. Titulación Ing. Agroforestal. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, 2012.

MOJICA, G.; LÓPEZ, M.; MANNSBACH, M. *Remoción de materia orgánica en aguas residuales municipales a partir de procesos de coagulación-floculación*. Revista Internacional de Investigación y Docencia, 2016, vol. 1, no 4, p. 33. [Fecha de consulta 6 Abril 2016]. Disponible: <http://dx.doi.org/10.19239/riidv1n4p33> ISSN: 2445-1711.

MONTGOMERY, DUGLAS. *Diseño y Análisis de Experimentos*. México, 2004. Ed. Limusa S.A. Vol. 2, no. 1, p. 685 - 690. [Fecha de consulta 9 Abril 2016]. ISBN 968-18-6156-6.

OLIVERO, R., AGUAS, Y., MERCADO, I., CASAS, D., MONTES, L. *Utilización de Tuna (opuntia ficus-indica) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas*. Avances Investigación en Ingeniería [online]. 2014. Vol. 11, no. 1, p. 70-75. [Fecha de consulta 9 April 2016]. Disponible: <http://www.unilibre.edu.com/revistaavances/avances-11/art7.pdf> ISSN: 1794-4953

OMS *Informe acerca de los progresos sobre el agua potable y saneamiento*, Who.int [online], 2012. [Fecha de consulta 15 Abril 2016]. Disponible: <http://www.who.int/mediacentre/news/>.

RAMÍREZ, H., JARAMILLO, J. *Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua*. UNIMILITAR [online]. 2015. Vol. 11, no. 2, p. 136-153. [Fecha de consulta 15 Abril 2016]. DOI <http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.1303>. Disponible: <http://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/download/1303/1359> ISSN 1900-4699.

RAMÍREZ, H, JARAMILLO, J. *Uso potencial de agentes clarificantes y desinfectantes de origen natural para el tratamiento integral del agua caracterizado por pisos térmicos*. Ingeniería Solidaria [online]. 2014. Vol. 10, no. 17, p. 139-151. [Fecha de consulta 10 Abril 2016]. DOI <http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.813>. Disponible: <http://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/view/813e>-ISSN 2357-6014

REVELO, A., PROAÑO, D., BANCHÓN, C. *Biocoagulación de aguas residuales de industria textilera mediante extractos de Caesalpinia spinosa*. Enfoque [online]. 2015. Vol. 6, no. 1, p. 1-12. [Fecha de consulta 6 Abril 2016]. Disponible: <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoque> Publicación trimestral e-ISSN: 1390-6542.

SEDAPAL. *Tratamiento de agua coagulación y floculación* [online]. Lima, 2006. [Fecha de consulta 7 Abril 2016]. Disponible: http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154

UNICEF. *Water and Sanitation*. UNICEF [online]. 2014. [Fecha de consulta 9 April 2016]. Disponible: <http://www.unicef.org/spanish/wash/>.

VARGAS, P.; JAVIER, D. *Uso potencial de la goma de tara (Caesalpinia spinosa) para el desarrollo de nuevas películas y recubrimientos comestibles compuestos*. Titulación Ing. Agroindustrial. Escuela Politécnica Nacional, 2015.

WILCHEZ, J., MORALES, W., ARÉVALO, C., RIVERA, H. *Alternativa para la potabilización del agua en zonas rurales*. Revista ambiental agua aire y suelo [online]. 2013. Vol. 4, no. 2, p. 130-140. [Fecha de consulta 15 Abril 2016]. Disponible: http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RA/article/view/430 ISSN 1900-9178

ANEXO I

PROCEDIMIENTO:

Obtención del coagulante – floculante

Para la obtención del coagulante-floculante vegetal se elegirá la respectiva materia prima, con características de calidad (tallos carnosos y verdes, libres de plagas), se procederá a extraer la pulpa, mucilago y goma correspondientes a las plantas de aloe vera, tuna y tara respectivamente.

Para el proceso de pulverización de la materia se llevará en una bandeja de aluminio a la estufa por un lapso de 48 horas a una temperatura de 105 °C, finalmente se procederá con ayuda de mortero a pulverizar la materia prima deshidratada, a su vez con ayuda de una criba N° 70 (0.5um) se obtendrá la materia homogenizada sin la presencia de grumos.

Obtención de la caracterización del agua a tratar

Se medirá pH, conductividad y turbidez a cada muestra tomada usando los equipos de pH-meter, Turbidímetro-meter y Conductímetro-meter, de igual modo se medirá la cantidad de sólidos disueltos y la dureza total del agua a tratar.

Aplicación del tratamiento

Se tomarán 1000 ml de agua de cada muestra (especificaciones ítem 2.3), con el fin de realizar los 36 análisis previstos para cada corrida, se aplicará la cantidad correspondiente de coagulante-floculante vegetal pulverizado según como se indica en el ANEXO II.

Se procederá a llevar las muestras a la prueba de jarras por el lapso de tiempo especificado en el ANEXO II. Finalmente se dejará un tiempo de reposo (30 minutos), a continuación se medirá la turbidez luego del tratamiento aplicado, dichos resultados serán plasmados en el ANEXO II.

APENDICE A

Tabla N° 5: Balance de masa *Opuntia ficus indica* (tuna).

| Operación | Masa inicial (g) | Masa final (g) | Pérdida (g) | Pérdida de la Operación (%) | Pérdida General (%) |
|-------------------------|------------------|----------------|----------------|-----------------------------|---------------------|
| Peso inicial | 4000 | - | - | - | - |
| Corte | 4000 | 3200.20 | 799.80 | 20.00 | 20.00 |
| Secado en estufa | 3200.20 | 960.10 | 2240.1 | 70.00 | 56.00 |
| Molido | 960.10 | 560.47 | 399.63 | 41.62 | 9.99 |
| Tamizado | 560.47 | 490.89 | 69.58 | 12.46 | 1.74 |
| TOTAL | | | 3509.11 | | 87.73 |
| Humedad | | | 70.00% | | |

Elaboración: Propia

Tabla N° 6: Balance de masa *Caesalpinia spinosa* (tara).

| Operación | Masa inicial (g) | Masa final (g) | Pérdida (g) | Pérdida de la Operación (%) | Pérdida General (%) |
|-------------------------|------------------|----------------|----------------|-----------------------------|---------------------|
| Peso inicial | 4000 | - | - | - | - |
| Corte | 4000 | 3870.56 | 129.44 | 3.24 | 3.24 |
| Secado en estufa | 3870.56 | 2890.44 | 980.12 | 25.32 | 24.50 |
| Molido | 2890.44 | 2080.20 | 810.24 | 28.03 | 20.26 |
| Tamizado | 2080.20 | 1990.30 | 89.90 | 4.32 | 2.25 |
| TOTAL | | | 2009.70 | | 50.25 |
| Humedad | | | 25.32% | | |

Elaboración: Propia

Tabla N° 7: Balance de masa *Aloe vera* (penca sábila).

| Operación | Masa inicial (g) | Masa final (g) | Pérdida (g) | Pérdida de la Operación (%) | Pérdida General (%) |
|-------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------|------------------------------------|----------------------------|
| Peso inicial | 4000 | - | - | - | - |
| Corte | 4000 | 3700.20 | 299.8 | 7.495 | 7.495 |
| Secado en estufa | 3700.20 | 870.23 | 2829.97 | 76.48 | 70.75 |
| Molido | 870.23 | 567.45 | 302.78 | 34.79 | 7.57 |
| Tamizado | 567.45 | 498.47 | 68.98 | 12.16 | 1.72 |
| TOTAL | | | 3501.53 | | 86.94 |
| Humedad | | | 76.48% | | |

Elaboración: Propia

Tabla N°8: Caracterización de las aguas del río Crisnejas, Chuquibamba-Cajabamba.

| CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS | | | | | | |
|--|----------------------|--------------------|-----------------------|-----------|------------------------------|---------------------------|
| Totales | Sólidos (ppm) | | Turbidez (NTU) | pH | Conductividad (uS/cm) | Dureza Total (ppm) |
| | Disueltos | Suspendidos | | | | |
| 5726.3 | 295.8 | 4424.3 | 550 | 7.43 | 43.3 | 784 |

Elaboración: Propia

ANEXO II

Instrumento de recolección de datos.

| Especie | Tuna | | | | | | | | | | | | Tara | | | | | | | | | | | | Aloe vera | | | | | | | | | | | |
|-----------|------|----|----|---|----|----|-----|----|----|---|----|----|------|----|----|---|----|----|-----|----|----|---|----|----|-----------|----|----|---|----|----|-----|----|----|---|----|----|
| rpm | 100 | | | | | | 200 | | | | | | 100 | | | | | | 200 | | | | | | 100 | | | | | | 200 | | | | | |
| gr. | 6 | | | 9 | | | 6 | | | 9 | | | 6 | | | 9 | | | 6 | | | 9 | | | 6 | | | 9 | | | 6 | | | 9 | | |
| min. | 5 | 15 | 20 | 5 | 15 | 20 | 5 | 15 | 20 | 5 | 15 | 20 | 5 | 15 | 20 | 5 | 15 | 20 | 5 | 15 | 20 | 5 | 15 | 20 | 5 | 15 | 20 | 5 | 15 | 20 | 5 | 15 | 20 | 5 | 15 | 20 |
| Muestra 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Muestra 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Muestra 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Turbidez: Medida en NTU

Fuente: Propia

ANEXO III

ANALISIS ESTADISTICO DE LA DISMINUCIÓN DE LA TURBIDEZ DEL AGUA DEL RIO CRISNEJAS EN LA COMUNIDAD DE CHUQUIBAMBA-CAJABAMBA UTILIZANDO OPUNTIA FICUS INDICA, ALOE VERA Y CAESALPINIA SPINOSA

PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZA

H0: La variabilidad de la turbidez del agua del río Crisnejas obtenida por el *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa* son homogéneos.

H1: Al menos la variabilidad de un par de los productos no es homogéneo.

Cuadro N° 1: Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error^a

Variable dependiente: Turbidez. NTU

| F | df1 | df2 | Sig. |
|-------|-----|-----|------|
| 2,415 | 35 | 72 | ,091 |

Prueba la hipótesis nula que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.

Prueba no significativa $P > 0.05$.

Por lo tanto La variabilidad de la turbidez del agua del río Crisnejas obtenida por el *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa* son homogéneos.

PRUEBA DE NORMALIDAD

H0: La turbidez del agua del río Crisnejas obtenida por el *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa* siguen una distribución normal.

H1: La turbidez del agua del río Crisnejas obtenida por el *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa* no siguen una distribución normal.

Cuadro N° 2: Pruebas de normalidad

| | Producto | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
|------------------|------------------------------|---------------------------------|----|-------|--------------|----|------|
| | | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| Turbidez. NTU | <i>Opuntia ficus indica.</i> | ,095 | 36 | ,200* | ,951 | 36 | ,114 |
| | <i>Caesalpinia spinosa.</i> | ,152 | 36 | ,035 | ,960 | 36 | ,218 |
| | <i>Aloe vera.</i> | ,149 | 36 | ,042 | ,922 | 36 | ,014 |

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Prueba no significativa $P > 0.05$.

Por lo tanto, La turbidez del agua del río Crisnejas obtenida por el *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa* siguen una distribución normal.

ANOVA

Cuadro N° 3: Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable transformada: Media

| Origen | Tipo III de suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. | Eta parcial al cuadrado | Parámetro de no centralidad | Potencia observada ^a |
|---|-------------------------------|----|------------------|------------|------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Intersección | 7973960,333 | 1 | 7973960,333 | 495220,078 | ,000 | 1,000 | 495220,078 | 1,000 |
| Producto | 199275,167 | 2 | 99637,583 | 6187,958 | ,000 | ,997 | 12375,916 | 1,000 |
| Velocidad.rpm | 1351,148 | 1 | 1351,148 | 83,913 | ,000 | ,700 | 83,913 | 1,000 |
| Tiempo.min | 64,667 | 2 | 32,333 | 2,008 | ,149 | ,100 | 4,016 | ,387 |
| Producto * *.Velocidad.rpm | 502,463 | 2 | 251,231 | 15,603 | ,000 | ,464 | 31,205 | ,999 |
| Producto * Tiempo.min | 6,833 | 4 | 1,708 | ,106 | ,980 | ,012 | ,424 | ,069 |
| Velocidad.rpm * Tiempo.min | 3,185 | 2 | 1,593 | ,099 | ,906 | ,005 | ,198 | ,064 |
| Producto * Velocidad.rpm * Tiempo.min | 5,537 | 4 | 1,384 | ,086 | ,986 | ,009 | ,344 | ,065 |
| Error | 579,667 | 36 | 16,102 | | | | | |

a. Se ha calculado utilizando alpha = ,05

Existe diferencia altamente significativa entre la turbidez del agua del río Crisnejas obtenida por el *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa*, entre las velocidades de agitación, y la mezcla entre ellas, pero con respecto al tiempo de contacto del coagulante con el agua a tratar no existe diferencia significativa

APENDICE A

Cuadro N° 4: Pruebas post hoc del Recurso Vegetal.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Turbidez. NTU

| | (I) Producto | (J) Producto | Diferencia de medias (I-J) | Error estándar | Sig. | Intervalo de confianza al 95% | |
|-----------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------|------|-------------------------------|-----------------|
| | | | | | | Límite inferior | Límite superior |
| HSD Tukey | <i>Opuntia ficus indica.</i> | <i>Caesalpinia spinosa.</i> | -69,17* | ,777 | ,000 | -71,03 | -67,31 |
| | | <i>Aloe vera.</i> | -103,25* | ,777 | ,000 | -105,11 | -101,39 |
| | <i>Caesalpinia spinosa.</i> | <i>Opuntia ficus indica.</i> | 69,17* | ,777 | ,000 | 67,31 | 71,03 |
| | | <i>Aloe vera.</i> | -34,08* | ,777 | ,000 | -35,94 | -32,22 |
| | <i>Aloe vera.</i> | <i>Opuntia ficus indica.</i> | 103,25* | ,777 | ,000 | 101,39 | 105,11 |
| | | <i>Caesalpinia spinosa.</i> | 34,08* | ,777 | ,000 | 32,22 | 35,94 |
| Scheffe | <i>Opuntia ficus indica.</i> | <i>Caesalpinia spinosa.</i> | -69,17* | ,777 | ,000 | -71,11 | -67,22 |
| | | <i>Aloe vera.</i> | -103,25* | ,777 | ,000 | -105,19 | -101,31 |
| | <i>Caesalpinia spinosa.</i> | <i>Opuntia ficus indica.</i> | 69,17* | ,777 | ,000 | 67,22 | 71,11 |
| | | <i>Aloe vera.</i> | -34,08* | ,777 | ,000 | -36,03 | -32,14 |
| | <i>Aloe vera.</i> | <i>Opuntia ficus indica.</i> | 103,25* | ,777 | ,000 | 101,31 | 105,19 |
| | | <i>Caesalpinia spinosa.</i> | 34,08* | ,777 | ,000 | 32,14 | 36,03 |

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 10,870.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel ,05.

Cuadro N° 5: Eficiencia del Recurso Vegetal en la disminución de la Turbidez (NTU)

| | Producto | N | Subconjunto | | |
|--------------------------|------------------------------|----|-------------|--------|--------|
| | | | 1 | 2 | 3 |
| HSD Tukey ^{a,b} | <i>Opuntia ficus indica.</i> | 36 | 214,25 | | |
| | <i>Caesalpinia spinosa</i> | 36 | | 283,42 | |
| | <i>Aloe vera.</i> | 36 | | | 317,50 |
| | Sig. | | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Duncan ^{a,b} | <i>Opuntia ficus indica.</i> | 36 | 214,25 | | |
| | <i>Caesalpinia spinosa</i> | 36 | | 283,42 | |
| | <i>Aloe vera.</i> | 36 | | | 317,50 |
| | Sig. | | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Scheffe ^{a,b} | <i>Opuntia ficus indica.</i> | 36 | 214,25 | | |
| | <i>Caesalpinia spinosa</i> | 36 | | 283,42 | |
| | <i>Aloe vera.</i> | 36 | | | 317,50 |
| | Sig. | | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 10,870.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 36,000.

b. Alfa = ,05.

APENDICE B

Cuadro N° 6: Pruebas post hoc del Tiempo en minutos.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Turbidez.ntu

| | | | Diferencia de medias (I-J) | Error estándar | Sig. | Intervalo de confianza al 95% | |
|-----------|----------------|----------------|----------------------------|----------------|------|-------------------------------|-----------------|
| | (I) Tiempo.min | (J) Tiempo.min | | | | Límite inferior | Límite superior |
| HSD Tukey | 5 | 15 | 1,83 | ,777 | ,054 | -,03 | 3,69 |
| | | 20 | ,50 | ,777 | ,797 | -1,36 | 2,36 |
| | 15 | 5 | -1,83 | ,777 | ,054 | -3,69 | ,03 |
| | | 20 | -1,33 | ,777 | ,206 | -3,19 | ,53 |
| | 20 | 5 | -,50 | ,777 | ,797 | -2,36 | 1,36 |
| | | 15 | 1,33 | ,777 | ,206 | -,53 | 3,19 |
| Scheffe | 5 | 15 | 1,83 | ,777 | ,069 | -,11 | 3,78 |
| | | 20 | ,50 | ,777 | ,814 | -1,44 | 2,44 |
| | 15 | 5 | -1,83 | ,777 | ,069 | -3,78 | ,11 |
| | | 20 | -1,33 | ,777 | ,236 | -3,28 | ,61 |
| | 20 | 5 | -,50 | ,777 | ,814 | -2,44 | 1,44 |
| | | 15 | 1,33 | ,777 | ,236 | -,61 | 3,28 |

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 10,870.

Cuadro N° 5: Eficiencia del Tiempo de Contacto en la disminución de la Turbidez (NTU)

| | Tiempo.min | N | Subconjunto | |
|--------------------------|------------|----|-------------|--------|
| | | | 1 | 2 |
| HSD Tukey ^{a,b} | 15 | 36 | 270,67 | |
| | 20 | 36 | 272,00 | |
| | 5 | 36 | 272,50 | |
| | Sig. | | ,054 | |
| Duncan ^{a,b} | 15 | 36 | 270,67 | |
| | 20 | 36 | 272,00 | 272,00 |
| | 5 | 36 | | 272,50 |
| | Sig. | | ,091 | ,522 |
| Scheffe ^{a,b} | 15 | 36 | 270,67 | |
| | 20 | 36 | 272,00 | |
| | 5 | 36 | 272,50 | |
| | Sig. | | ,069 | |

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

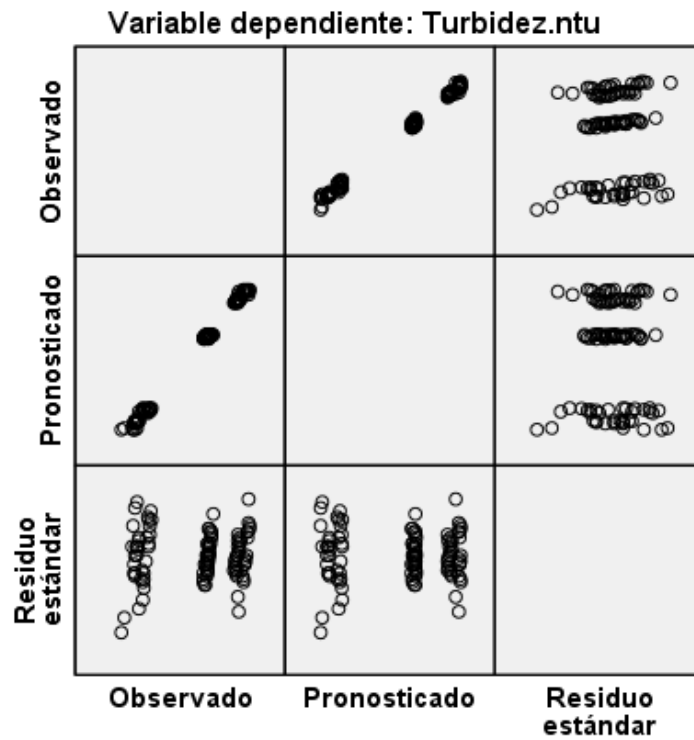
El término de error es la media cuadrática (Error) = 10,870.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 36,000.

b. Alfa = ,05.

APENDICE C

Gráfica N° 4: Grafico de Dispersión.



Modelo: Intersección + Producto + Velocidad.rpm + Tiempo.min + Cantidad.gr + Producto * Velocidad.rpm + Producto * Tiempo.min + Producto * Cantidad.gr + Velocidad.rpm * Tiempo.min + Velocidad.rpm * Cantidad.gr + Tiempo.min * Cantidad.gr + Producto * Velocidad.rpm * Tiempo.min + Producto * Velocidad.rpm * Cantidad.gr + Producto * Tiempo.min * Cantidad.gr + Velocidad.rpm * Tiempo.min * Cantidad.gr + Producto * Velocidad.rpm * Tiempo.min * Cantidad.gr

ANEXO V

Ftg. N° 1: Proceso de obtención del coagulante-floculante vegetal



Ftg. N° 2: Aplicación del proceso de clarificación.

